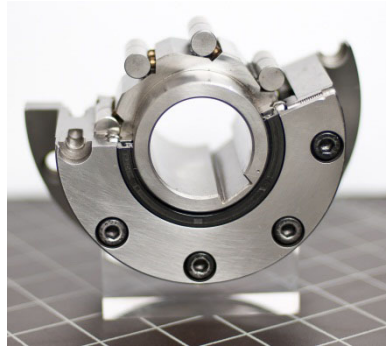


## Untersuchung des Einflusses axialer Belastungen auf das Schaltverhalten von Freiläufen



Nagler, N.

Klemmkörper- und Klemmrollenfreiläufe werden als reibschlüssig wirkende Kupplungen eingesetzt, um die Wirkrichtung eines Torsionsmoments festzulegen. Bedingt durch das reibschlüssige Konstruktionsprinzip können Freiläufe weder radiale noch axiale Führungsaufgaben übernehmen. In der Praxis bekannte Schadensfälle treten immer dann auf, wenn axiale Belastungen nicht ferngehalten werden können. Im Rahmen eines FVA-Projekts sollen der qualitative und quantitative Einfluss der Axialbelastung auf die Funktionserfüllung bzw. das Versagen von Freiläufen untersucht und Berechnungsgrundlagen erstellt werden, die eine Berücksichtigung der Axialbelastung schon bei der Auslegung ermöglichen.

*Sprag freewheels and roller freewheels are clutches based on the principle of friction-locked power transmission. They are used in order to ascertain the affective direction of a torsional moment. Due to the friction-locked design principle they are unable to execute guiding tasks in neither axial nor radial direction. Therefore damages occur in case axial loads cannot be prevailed. Within the scope of an FVA-project quantitative and qualitative influences of the axial load on the proper functioning or failing of freewheels are investigated respectively. Furthermore, a calculation basis will be developed that permits the consideration of axial loads already in the design stage of freewheels.*

### 1 Einleitung

Freiläufe gehören zu den selbstständig schaltenden Kupplungen, wobei das Schalten abhängig von der relativen Drehrichtung der An- und der Abtriebsseite zueinander ist. Prinzipiell sind bei einem Freilauf die zwei Betriebszustände des Mitnahme- und des Leerlaufbetriebs möglich. Bei einer rotativen Bewegung in eine Drehrichtung kann der Freilauf im Mitnahmebetrieb ein Torsionsmoment vom Antrieb auf den Abtrieb übertragen, bei entgegen gerichteter Drehrichtung, im Leerlaufbetrieb, rutscht der Freilauf durch, ohne ein Torsionsmoment vom Antrieb auf den Abtrieb zu übertragen.

Je nach der Art der Kraftübertragung werden Freiläufe in form- oder reibschlüssige Freiläufe unterteilt. Am bekanntesten ist der form-schlüssig wirkende Klinkenfreilauf, welcher in Ratschen oder der Hinterradnabe von Fahrrädern eingesetzt wird. Im industriellen Umfeld haben sich jedoch aufgrund der größeren Leistungsdichte und Schaltgenauigkeit die reibschlüssigen Freiläufe durchgesetzt. Die wichtigsten Bauformen von reibschlüssigen Freiläufen sind der Klemmrollen- sowie der Klemmkörperfreilauf (s. Abbildung 1).

Beim Klemmkörperfreilauf resultieren der Mitnahme- und der Leerlaufbetrieb aus der Geometrie der Klemmelemente. Der Mitnahmebetrieb bzw. das Schalten werden dadurch erreicht, dass sich bei einer Verdrehung des Innenrings nach rechts und gleichzeitigem Fixieren des Außenrings die Klemmkörper aufstellen und reibschlüssig im (Klemm-) Spalt verkeilen. Eine Verdrehung des Innenrings nach links aus dem Zustand des Mitnahmebetriebs heraus führt zum Aufheben des Sperrens der Klemmkörper und somit zum Leerlaufbetrieb. Der Leerlaufbetrieb wird nicht nur beim Stillstand eines der Ringe erzielt, sondern auch, wenn der Antrieb zurückbleibt oder der Abtrieb voraussetzt.

Beim Klemmrollenfreilauf resultiert der Mitnahme- bzw. Leerlaufbetrieb nicht aus der Geometrie der Klemmrollen sondern der der Ringe, insbesondere der des Innensterns. Wird z. B. der Innenstern bei fixiertem Außenring nach rechts gedreht oder der Außenring nach links bei fixiertem Innenstern, verengt sich der den Rollen zur Verfügung stehende Klemmspalt, ein Reibschluss wird erzeugt und somit der Mitnahmebetrieb ermöglicht.

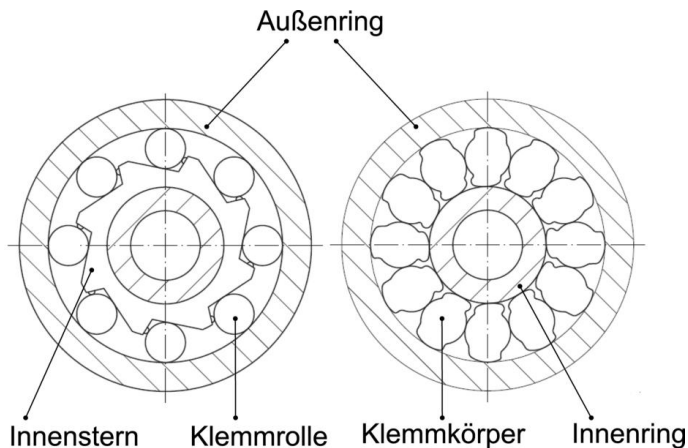


Abbildung 1: Klemmrollen- (links) und Klemmkörperfreilauf (rechts) nach /1/

## 2 Probleme und Ziele

Freiläufe mit Schaltfunktion, Schaltfreiläufe, werden in vielfältigen Anwendungen, wie z. B. im Antriebsstrang von Automobilen, genutzt. Zu vermeidende Anregungen in axialer Richtung entstehen z. B. in Strömungsprozessen, wenn axiale Kräfte in ein Torsionsmoment gewandelt werden oder in Antriebssträngen mit Verbrennungsmotor, wo die Drehungleichförmigkeit des Prozesses zur Schwingungsanregung einzelner Komponenten führt. Dadurch werden beispielsweise Verzahnungen, Riementreibe und Lagerungen im Umfang ihrer fertigungsbedingten Axialspiele zu Schwingungen angeregt. Wenn das Auftreten von Axialkräften und Axialschwingungen in Freiläufen nicht durch geeignete Lagerungen oder andere Maßnahmen vermieden werden kann, so ist dies problematisch, da diese Axialbelastungen bei der Auslegung von Freiläufen nach gültigen Berechnungsvorschriften bislang nicht berücksichtigt werden und dies in Folge der erhöhten Summenbeanspruchung des Reibkontakts zu Funktionsstörungen oder einem Funktionsverlust führt.

Die grundlegende, gültige Auslegungsvorschrift für den Reibschluss ist die Einhaltung des aus den in Abbildung 2 dargestellten Kräfteverhältnissen im Freilauf resultierenden zentralen Funktionskriteriums.

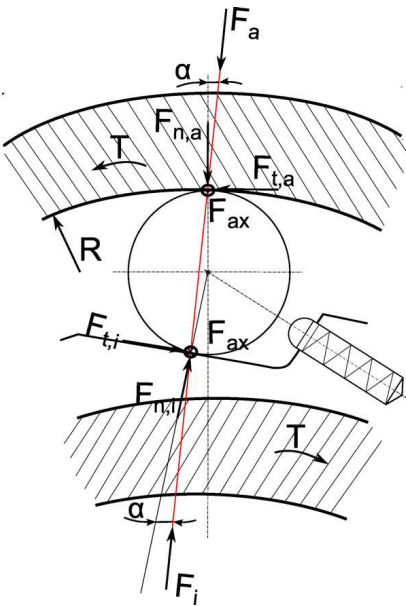


Abbildung 2: Kräfteverhältnisse im Klemmrollenfreilauf

Dieses lautet

$$\tan(\alpha) = \frac{F_t}{F_n} \leq \mu \quad 2.1$$

und besagt, dass für eine einwandfreie Funktionserfüllung des Freilaufs das Verhältnis aus Tangential-  $F_t$  und Radialkraft  $F_n$  immer kleiner als der Reibwert  $\mu$  sein muss. Der Einfluss axialer Belastungen findet hierin bislang keinerlei Berücksichtigung.

Ziel des Projekts ist es daher, basierend auf theoretischen und experimentellen Untersuchungen, abgesicherte Berechnungsgrundlagen zur Auslegung zugleich tangential und axial belasteter Freiläufe zu entwickeln, sowie dem Anwender konstruktive Empfehlungen zur Gestaltung der Freilaufverbindung zu geben. Ferner sollen im Rahmen des Projekts

- die Ursachen für den Funktionsverlust des Freilaufs bei Axialbelastung sowie
- die wirkenden Versagensmechanismen bestimmt und
- die Parameter ermittelt werden, die das Versagen bzw. den Funktionsverlust des Freilaufs begünstigen

Schließlich soll durch die experimentellen und theoretischen Untersuchungen zudem das Verständnis für die auftretenden Phänomene im „System Freilauf“ sowie dessen Reaktion auf Belastungsänderungen gemehrt werden

### 3 Lösungsweg

Um die in Kapitel 2 benannten Ziele zu erreichen, werden sowohl theoretische als auch experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Dazu werden jeweils die in Tabelle 1 dargestellten Fälle untersucht.

Tabelle 1: Zu betrachtende Fälle

<b>Statisches Torsionsmoment</b>	<b>Dynamisches Torsionsmoment</b>	
1	/	<b>Statische Axiallast</b>
2	3 & 4	<b>Dynamische Axiallast</b>

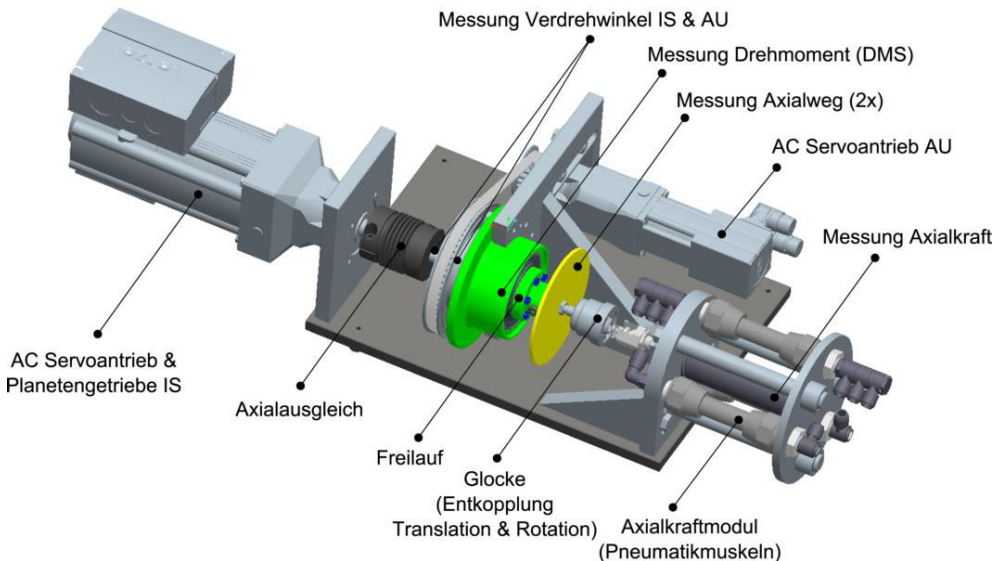
### 3.1 Theoretische Untersuchungen

Im Rahmen der theoretischen Untersuchungen sollen, entsprechend den in Kapitel 2 benannten Zielen und zu untersuchenden Fällen, Berechnungsgrundlagen für die Auslegung zusätzlich axial belasteter Freiläufe entwickelt werden. Dazu werden FEM-Simulationen durchgeführt und ein parametrierbares Mehrkörpersimulationsmodell (MKS-Modell) der zu untersuchenden Freiläufe erstellt. Mit diesem werden Simulationen durchgeführt, deren Ergebnisse den Grundstock für die Ableitung der zu entwickelnden Berechnungsgrundlagen bilden, wobei die Ergebnisse Plausibilitätsprüfungen sowie Vergleichen mit den Ergebnissen experimenteller Untersuchungen unterzogen werden.

### 3.2 Experimentelle Untersuchungen

Im Rahmen des Projekts werden experimentelle Untersuchungen, entsprechend den vier Fällen aus Tabelle 1, an Schaltprüfständen durchgeführt.

Einen verfügbaren Schaltprüfstand und dessen wichtigsten Komponenten zeigt Abbildung 3.



### Abbildung 3: Freilaufschaltprüfstand

Bei diesem Prüfstand wird der Freilaufinnenstern (IS) durch einen Servoantrieb mit integriertem Planetengetriebe durch statische oder oszillierende Belastungen beaufschlagt, der Freilaufaußenring (AU) kann über einen Riementrieb durch den zweiten Servoantrieb belastet werden. Die statische oder dynamische Axialbelastung des Innensterns erfolgt über ein Axialkraftmodul in Form von Pneumatikmuskeln. Die erforderliche Entkopplung der rotativen Bewegung durch die Servoantriebe und der translatorischen Bewegung durch das Axialkraftmodul erfolgt durch die zwischen dem Freilaufträger (grün) und dem Axialkraftmodul befindliche Glocke. Gemessen werden das Torsionsmoment in Freilaufnähe mittels DMS, die von den Pneumatikmuskeln erzeugte Axialkraft, die Verdrehwinkel am Innenstern und am Außenring sowie die axialen Wegverschiebungen, die auch am Innenstern auftreten, durch zwei Wegsensoren an der sich mitbewegenden (gelben) Scheibe, die als Messreferenz genutzt wird.

#### Eckdaten des kleinen Prüfstands:

- Torsionsmoment: max. 26 Nm
- Max. Schaltfrequenz: 30 Hz (AC Servoantrieb IS)
- Max. Axialkraft: 3 kN (Pneumatikmuskeln)
- Max. Axialfrequenz: 30 Hz (Pneumatikmuskeln)

## **4 Zusammenfassung**

Die axiale Belastung von Freiläufen ist nicht immer vermeidbar und kann zum verfrühten Verlust der Funktionserfüllung oder Ausfall des Freilaufs führen. In den geltenden und durch die Freilaufanwender genutzten Berechnungsvorschriften konnte diese, zusätzlich zur normalen Tangentialbelastung, auftretende Axialbelastung bislang bei der Auslegung der Freiläufe nicht berücksichtigt werden. Im Rahmen des Projekts soll dieser Mangel durch die Entwicklung adäquater Berechnungsgrundlagen, basierend auf theoretischen und experimentellen Untersuchungen, behoben werden.

## **5 Literatur**

- /1/ Produktkatalog „Freiläufe“ der Ringspann GmbH, Bad Homburg
- /2/ Stölzle, K.; Hart, S.: Freilaufkupplungen – Berechnung und Konstruktion; 1. Auflage; Springer-Verlag; Heidelberg; 1961